

論文の内容の要旨

論文題目	自動車を用いた体感型エンタテインメントシステムに関する研究
学位 申請者	小玉 亮

体感型エンタテインメントは、視聴覚コンテンツで発生する事象にタイミングを合わせてユーザの複数感覚への情報提示を行うことで臨場感や迫真性を高め、コンテンツの世界を体感させるエンタテインメントである。テーマパークなどで提供される乗り物型の体感型エンタテインメントでは、大型ディスプレイとモーションプラットフォーム（MP）を組み合わせたものが標準的で、コンテンツに運動感覚へのフィードバックが付加されることにより高品質な体験が実現されている。一方で、設置面積やコストの問題から、特定施設でしか体験することができない欠点もある。このような優れた体感が得られるシステムを普及させることができれば、ユーザとクリエイタの双方から体感型エンタテインメントへのアクセス性が向上すると期待できる。

体感型エンタテインメントシステムの普及を妨げるボトルネックは、システムの設置面積とコストにあると考えられる。システムの主たる構成要素としては、ユーザの視野角を埋める大型のディスプレイとユーザの身体に運動フィードバックを提示するMPの二つであるが、ディスプレイに関しては、近年の携帯デバイス技術の進展から、視界を覆うタイプのヘッドマウントディスプレイ（HMD）の高性能化・低価格化が進み、立体視可能な全天球映像の提示と、正確なポジショントラッキングが一般家庭でも入手可能となった。

一方でMPには大きな進展はみられず、未だ普及のボトルネックであり続けている。この問題を解決するために、本研究では自動車を用いる体感型エンタテインメントシステムを提案する。自動車はすでに世の中に広く普及している製品であり、乗員を運搬するパワーを有していることから、MPとしてユーザの身体に運動フィードバックを提示する装置として利用できる。また、エアコンやリクライニングチェアといった快適性向上のための装備は、ユーザの複数感覚への刺激提示に将来的に応用できる可能性がある。MPとは別の目的ですでに普及しているものを体感型エンタテインメントシステムに転用することで、コストの低減が期待でき、設置面積の課題に関しても、一般家庭にも駐車場があるなど、自動車のため

のインフラが社会に広く実装されているため解決しやすい。なにより、自動車はユーザとともに移動するモバイルデバイスであるため、移動中や店舗の駐車場など多くの環境をコンテンツ提供エリアとして活用可能であることから、体感型コンテンツのビジネスが多様化していくことも予想される。

本研究では自動車を用いた体感型エンタテインメントシステムの実現可能性と有用性の検証を目的とした。実現可能性の検証では、提案システムの運用シーンのうち日本の駐車場一区画で動作する方式のシステムについて検証した。市販されている小型電気自動車を改造してプロトタイプを構成し、HMDに投影される全天周コンテンツに同期して自動車を並進運動させるアルゴリズムを開発した。有用性の検証では、プロトタイプで体験できる体感型コンテンツを制作し、ユーザ評価から自動車の運動の有無によってコンテンツに対する評価がどのように変化するかを調査した。

初期のプロトタイプによって実現性といくつかの体感増強効果が示されたが映像と身体の運動の間の違和感があることや、揺れ感の増強効果が得られないといった課題が見られた。この課題を解決すべく、振動アクチュエータの増設や、振動触覚刺激と自動車の並進運動刺激を重畳した「衝撃を模した運動フィードバック」を開発した。最終的なプロトタイプでは上記2つの問題が解決され、システムの有用性が検証された。

本論文は全7章から構成される。以下に各章の概要を述べる。

第1章では、体感型エンタテインメントシステムの概要と課題を述べ、課題解決の方法として自動車を用いる体感型エンタテインメントシステムを提案する。また、自動車をシステムに適用することの利点と欠点について整理し、体感型コンテンツの提供エリア拡張と相性の良い「駐車場で運用するシステムの実現可能性と有用性の検証」を本研究の目的として設定する。

第2章では、本論文で扱うヒトの移動感覚に関する生理学的知見を述べ、第3章以降で述べる設計・開発において必要な知識を共有する。

第3章では、自動車を用いる体感型エンタテインメントシステムの一次試作について述べる。試作は市販されている一人乗り小型電気自動車「COMS」を改造して製作した。この試作システムで体験できる体感型コンテンツを制作し、ユーザ評価を通して提案システムの実現可能性と課題点を考察する。

第4章では、第3章で明らかとなったシステムの課題解決に向け「衝撃を模した運動フィードバック」を提案する。この運動フィードバックを実現するために、試作システムを改良し、ユーザ評価を実施した。この改良により課題解決の可能性が見いだせたことを示す。

第5章では、第4章に続き「衝撃を模した運動フィードバック」について述べる。運動フィードバックの高頻度化と、提示可能な振動周波数を拡張することを目的として、自動車に振動アクチュエータを搭載する改良を実施した。ユーザ評価の結果から、自動車の並進運動刺激に振動アクチュエータの振動刺激を組み合わせることで、衝撃シーンの体感が増強されることを示す。

第6章では、第4章、第5章で取り組んだ「衝撃を模した運動フィードバック」の体感型エンタテインメントシステムへの実装について述べる。第4章、第5章では特定のイベントに対して運動フィードバックを再生する方式をとっていたが、コンテンツ内の物理演算結果から自動的に運動フィードバックを生成するよう改良した。ユーザ評価の結果から、実用レベルの体感向上効果が実現できたことを示す。

第7章では論文をまとめ、自動車を用いる体感型エンタテインメントシステムの今後の展開について述べる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 小玉 亮

審査委員主査 梶本 裕之

委員 羽田 陽一

委員 兼子 正勝

委員 野嶋 琢也

委員 高橋 裕樹

委員 橋本 直己

委員

本論文は自動車をモーションプラットフォームとして利用することを提案し、実装及びユーザ評価によってその有効性を検証したものである。

モーションプラットフォーム（MP）とは身体を載せて運動させることによってリアルな運動感を提示するための装置であり、訓練用フライトシミュレータ等の分野で従来から研究されている。近年ではバーチャルリアリティ（VR）技術と合わせて体感型エンタテインメントのためにも利用されており、その裾野が広がっているが、身体を載せて運動させるために強力かつ大型のアクチュエータが必要であり、テーマパーク等広い設置面積を持つ施設での運用に限られていた。本論文はこの課題に対して、自動車を「人を運搬できる力を持つアクチュエータ」と見立て、MPとして利用することで課題解決を図るものである。

本論文では現在のMP技術を概観した後、自動車をMPとして用いることの得失を議論し、実際に一人乗りの電気自動車を改造することで自動車型MPを構成している。複数の試作とユーザ評価により提示アルゴリズムを検証し、自動車MPが体感型エンタテインメントのメディアとして有用であることを示している。

本論文は全7章から構成されている。

第1章では、体感型エンタテインメントシステムの現状についてまとめられている。そこで課題として、大型かつ高価であることが一般への普及を妨げていることを述べた後、課題解決の方法として自動車を用いる体感型エンタテインメントシステムを提案している。また、自動車をMPとして利用することの利点と欠点について整理している。利点としては入手の容易さ、移動のしやすさ、人の重量を動かすに十分なパワーが有ること等が挙げられ、欠点としては提示可能な自由度が限られていること等が挙げられている。自動車型MPの使用形態を整理した後、体感型コンテンツの提供エリア拡張と相性の良い、駐車場での運用を前提としたシステムの実現可能性と有用性の検証を本研究の目的として設定している。

第2章では本論文で扱う人の移動感覚に関する生理学的知見を整理している。

特に移動は複数の感覚が関与することから、それらの感覚間で許容される時間差が重要となるが、その点についても先行研究を整理している。

第3章では、一人乗り電気自動車COMSをベース車両として「自動車をMPとして活用した体感型エンタテインメントシステム」のプロトタイプCOMS-VRを制作し、COMS-VR上で動作するVRコンテンツによるユーザ評価によって体感向上効果を検証している。並進運動フィードバックの付与により「楽しさ」「怖さ」「移動感」といった体感が向上する効果を確認している。またフィードバックの生成アルゴリズムとして加速度再現とジャーク再現を比較し、加速度再現アルゴリズムがVRコンテンツの体感向上に有利であることを明らかにしている。一方で運動フィードバックの付加はシミュレーション酔いのリスクを高めることも示している。また映像と身体運動の間の違和感があることや、揺れ感の増強効果が見られないなどの課題を確認している。

第4章では、加速度再現アルゴリズムの揺れ感増強効果の不足を改善するため、ジャーク再現アルゴリズムから発想を得た衝撃フィードバックを提案している。加速度再現アルゴリズムに衝撃パターン波形再生を組み合わせる試作アルゴリズムを開発しユーザ評価を行い、提案アルゴリズムは「揺れ感」に対する体感向上効果を高めることを明らかにしている。一方で「楽しさ」「怖さ」に対する体感向上効果を低下させてしまう欠点も観察されている。これはアルゴリズム改良の一環で、移動範囲制限アルゴリズムの強制力を緩和したことによって、ユーザに運動が提示されない時間が増えたことが原因であると推測している。

第5章では第4章でみられた衝撃フィードバックの課題を解決するため、振動触覚提示システムをCOMS-VRに搭載し、高頻度衝撃フィードバックを実現するとともに提示振動周波数を拡大することを提案、実装している。簡易並進装置での予備実験では、並進運動刺激と振動触覚刺激の重量が衝撃フィードバックの体感を向上させる可能性を示している。COMS-VRへの振動アクチュエータの搭載に際しては、機械振動の周波数特性および体感強度実験から30Hz～60Hzでの振動提示が最も強い主観的強度で刺激できることを明らかにしている。また、COMS-VRでのマルチモーダル刺激（映像、音、並進運動、振動）の提示時間ずれを計測し、最も応答の遅い並進運動刺激に他の刺激を合わせることで、同時提示が可能となることを示している。

第6章では第5章で取り組んだシステムの改良をコンテンツに取り込むため、VRコンテンツの物理運動情報から衝撃フィードバックをリアルタイムに生成するアルゴリズムを開発している。このアルゴリズムでは、自然な刺激提示のためにマルチモーダル刺激の提示時間ずれも調整している。ユーザ評価の結果、「楽しさ」「怖さ」の体感向上効果を維持しながら、衝撃フィードバックによる「揺れ感」が向上する効果を確認し、さらにマルチモーダル刺激の提示タイミングの調整が「違和感」の低減に効果があることを明らかにしている。さらに、運動感覚全体の体感向上に寄与することも明らかにしている。

第7章では論文の成果をまとめ、自動車を用いる体感型エンタテインメントシステムの今後の展開可能性について述べている。

以上のように本論文は、自動車をモーションプラットフォームとして用いるという新たな手法の提案、今後特に普及の見込まれる電気自動車を用いた実装、およびユーザ評価による検証までを行っているものであり、一般に普及可能なモーションプラットフォームの一形態を示した点で、本研究分野における発展に一定の寄与をもたらすものである。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものであると認める。